

# 重庆缙云山 4 种林地林下枯落物储量及其持水特性研究<sup>\*</sup>

王 栋, 张洪江, 程金花, 曹奇光, 程 云, 王云琦  
(北京林业大学 水土保持学院; 教育部水土保持与荒漠化防治重点实验室, 北京 100083)

**摘 要:**通过对重庆缙云山针阔叶混交林、阔叶林、楠竹林和灌木林 4 种典型植被类型林下枯落物及其持水特性分析研究, 结果表明: 林下枯落物储量大小为灌木林> 阔叶林> 针阔混交林> 楠竹林, 其中半分解层和分解层的总储量大于未分解层储量。缙云山自然保护区 4 种不同植被类型下枯落物持水特征曲线具有明显不同, 持水能力为灌木林> 针阔混交林> 阔叶林> 楠竹林。在浸泡前 2 h 内持水量变化极大, 2 h 以后变化量变小, 各层持水量浸泡 8 h 后均基本达到饱和。未分解层枯落物持水量小于半分解层分解层枯落物的持水量, 枯落物各层持水量与浸泡时间之间的关系符合  $Q = a \ln t + b$  关系。4 种不同植被类型林下枯落物吸水率大小为针阔混交林> 灌木林> 阔叶林> 楠竹林, 枯落物各层吸水速率与浸泡时间存在  $V = kt^n$  关系。在枯落物持水作用较强的前 2 h 内, 其吸水速率最快的为灌木林, 达到 22.208 mm/h。

**关键词:** 缙云山; 枯落物; 持水特性

中图分类号: S715                      文献标识码: A                      文章编号: 1005-3409(2007)04-0126-07

## Reserves and Water Capacity Characteristics of Four Kinds of Litters in Jinyun Mountain

WANG Dong, ZHANG Hong-jiang, CHENG Jin-hua, CAO Qi-guang,  
CHENG Yun, WANG Yun-qi  
(College of Soil and Water Conservation, Beijing Forestry University; Key Laboratory of Soil and Water Conservation and Desertification Combating, Ministry of Education, Beijing 100083, China)

**Abstract:** To survey and analyze the litter amount and water retention characteristic, the litter is under the 4 typical vegetations (mixed broadleaf-conifer forest, broad-leaved forest, *Phyllostachys pubescens* forest and shrub forest) in Jinyun Mountain. The results indicate that litter amount is shrub forest > broad-leaved forest > mixed broadleaf-conifer forest > *Phyllostachys pubescens* forest. The amount of half-decomposed layer and decomposed layer is more than undecomposed layer. To study the process of water retention capacity of litter, the curves of litter water retention characteristic are different among 4 typical vegetations in Jinyun Mountain. The water-holding ability of the litters is shrub forest > mixed broadleaf-conifer forest > broad-leaved forest > *Phyllostachys pubescens* forest. It greatly changes in 2 hours, and has little change after 2 hours. The water-holding amount of every layer reaches the largest after 8 hours and the water-holding amount of undecomposed layer is less than half-decomposed layer and decomposed layer. Regression analyses show that  $Q = a \ln t + b$  is the relationship of the water-holding amount of every layer and soaking time. The water absorption rate of 4 kinds of vegetations is mixed broadleaf-conifer forest > shrub

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2007-03-15                      修稿日期: 2007-07-01  
基金项目: 国家 973 重点研究发展计划“长江上游环境变化与产水产沙作用机理”(2003CB41202-3)  
作者简介: 王栋(1970-), 男, 讲师, 在读博士, 主要研究方向: 水土保持。  
责任作者: 张洪江, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 流域管理和土壤侵蚀。

forest > broad-leaved forest > *Phyllostachys pubescens* forest. The relationship of the water absorption rate and soaking time is  $V = kt^n$ . The water absorption rate of shrub forest is the largest in the first 2 hours of water retention capacity of litter, and it can reach 22.208 mm/h.

**Key words:** Jinyun Mountain; forest litters; water capacity characteristic

国内外许多学者在不同区域对多种森林类型下的枯落物特性作了研究,在枯落物的凋落量、凋落动态、分解速率、对土壤结构的改变、对养分元素循环的影响、截持降水、抑制土壤水分蒸发、增强土壤入渗、影响地表径流和土壤侵蚀机理等方面都取得了一定成果<sup>[1~5]</sup>。大量的实验表明枯枝落叶的水文作用主要体现在枯枝落叶的吸水方面,吸水量的多少与其林地现存量、分解状况以及自身的含水量、天气状况等多种因子有关<sup>[6]</sup>。林下枯落物储量对其持水量有重大影响<sup>[7]</sup>,美国著名森林水文学家 Richard Lee 认为,地被物对降雨的截留量大小取决于地被物的蓄水容量<sup>[8~10]</sup>,枯枝落叶层吸水作用的大小,取决于其本身的厚度和性质。树种不同,枯落物的吸水能力及分解情况有很大差异,枯落物分解程度不同其持水能力有很大区别<sup>[11,12]</sup>。枯落物的持水机理由于受枯落物性质的影响,持水量的时空变化比较复杂,坡位、坡向、坡形、坡度和海拔高度都会影响下垫面水热状况的分配和交换<sup>[13]</sup>。王佑民、刘秉正等曾对枯落物年持水量与枯落物储量之间的关系进行了研究,并分析了枯落物持水与降雨、地形因素的关系,并对黄土高原南部刺槐林凋落物与其截留水量之间的关系进行了详细研究<sup>[14,15]</sup>,刘向东等认为油松枯落物截留降雨量与降雨量的关系符合幂函数关系<sup>[16]</sup>,赵鸿雁等用定位观测的方法研究了人工油松林枯枝落叶的截流量及其截留的动态过程<sup>[17]</sup>,吴钦孝等曾对油松、山杨、沙棘等的年凋落进程、不同时期的凋落速率及年内枯落物总量的动态变化提出过回归方程<sup>[18,19]</sup>,苏宁虎曾提出过林地一年内不同时期凋落量及凋落速率的数学模型<sup>[20]</sup>。本文对重庆缙云山4种不同林地类型,针阔混交林、阔叶林、灌木林和楠竹(*Phyllostachys pubescens*)纯林林下枯落物储量及其水文作用作了定量研究。

## 1 研究区概况

选择重庆缙云山森林植被生态监测站作为实验研究基地,该基地位于重庆市北碚区缙云山自然保护区境内,嘉陵江小三峡之温塘峡西岸,地理坐标为东经 106°22',北纬 29°49',海拔 350~951.5 m,距重庆市中心区 60 km,为华莹山腹式背斜山脉分支的一段,东西长约 6 km,南北宽约 3 km。

缙云山自然保护区具亚热带季风湿润性气候特征,年平均气温 13.6℃,≥10℃年积温为 4 272.4℃。相对湿度年平均 87%,年平均降水量 1 611.8 mm,年平均蒸发量 777.1 mm。土壤以三迭纪须家河组厚层石英砂岩、炭质页岩和泥质砂岩为母质风化而成的酸性黄壤及水稻土。山麓地区为侏罗纪由紫色砂页岩夹层上发育的中性或微石灰性的黄壤化紫色土。

缙云山地处我国亚热带地区,地带性植被常绿阔叶林保存良好。本试验观测林分有针阔混交林、阔叶林、灌木林和楠竹(毛竹)纯林的林地枯落物。缙云山针阔混交林从东向西呈带状分布,乔木层一般比较繁盛,试验区其中常见的树种有马尾松(*Pinus massoniana* Lamb)、杉木(*Cunninghamia lanceolata*)、大头茶(*Gordonia axialis*)、山矾(*Symplocos setchuanensis*),下木为杜茎山(*Maesa japonica* (Thunb.) Morvitz ex Zoll)、虎皮楠(*Daphniphyllum dhamiv* (Hemsl.) Rosenth)、小叶栲(*Castanopsis carlesii* Hayata var. *spinulosacheng*)等。阔叶林试验区主要为四川大头茶(*Gordonia szechuanensis* Chang)、白毛新木姜子(*Neolisea aurata* Prvtz ex Dels)、四川杨桐(*Adnandra boehiana* Prvtz ex Piel)等。下木为杜茎山、虎皮楠、蕨蕨(*Smilax china* L.)。灌木林试验区主要为地瓜藤(*Ficus tikoua* Buv)、寒莓(*Rubus buergeri* m.vq)、白勒(*Eleutherococcus trifolatus* (L.) S. Y. Hu)、常春藤(*Hedera nepalensis* K. Koch var. *swensis* (Told) Tehd)等,见表 1。

## 2 研究方法

### 2.1 林下枯落物收集

在不同类型林地内分坡面上部、中部和下部,各取面积为 20 cm × 25 cm 的枯落物样方 3 个。现场记录测定其总厚度、未分解层厚度和半分解层分解层厚度。采取枯落物时,将未分解层和半分解层分别收集保持原样装箱。将采集的样品带回室内进行风干、测干重,烘干校正。并将相同林地不同坡位枯落物量分别均化处理,得到每个样方枯落物量。未分解枯落物系指基本上保持其原有形状及质地的枯枝落叶,半分解枯落物系指未完全腐烂、肉眼观察能分辨出其枝叶大体形状的枯枝落叶。在采集中,分

解层与半分解层不易分层, 所以未将半分解层与分解层分层采集。

表 1 标准地基本情况

试验 区林地 类型	土 壤						林地条件				
	土层 厚度/cm	结构	湿度	质地	紧密度	酸碱度	海拔 /m	坡度 /(°)	坡向	郁闭度	主要 树种
针阔混交林	45	粒状	潮	砂壤土	松	微酸	760	20	西北	0.7	马尾松、杉木、四川大头茶、四川山矾、杜茎山、虎皮楠、小叶栲
阔叶林	35	粒状	潮	砂壤土	松	微酸	825	25	西北	0.8	四川大头茶、白毛新木姜子、四川杨桐、杜茎山、虎皮楠、菝葜
灌木林	80	粒状	潮	砂壤土	松	微酸	860	5	北	0.6	地瓜藤、寒莓、白勒、常春藤
楠竹林	30	粒状	潮	砂壤土	松	微酸	800	10	北	0.8	楠竹

2.2 枯落物持水量及其吸水速率测定方法

用室内浸泡法测定林下枯落物的储水量和其吸水速率。首先, 对所采集的枯落物进行风干并称其重量 (以 kg 计), 然后将称重后的枯落物原状放入土壤筛, 再将装有枯落物的土壤筛置入盛有清水的容器中, 水面略高于土壤筛的上沿。将枯落物浸入水中后, 开始时每隔一定时间将枯落物连同土壤筛一并取出, 静置 5 min 左右, 直至枯落物不滴水为止, 迅速称枯落物的湿重记为  $W_{ij}$ 。待浸泡 2 h 后, 每隔 2 h 将枯落物连同土壤筛一并取出称重, 称重方法如上。待浸泡 10 h 后, 即一直到浸泡 20 h 时再取出枯落物称重。每次从浸泡容器中取出称重所得的枯落物湿重差值  $\Delta W_{ij}$ , 即为第  $i$  种枯落物在  $(j+1)-j$  浸泡时间段内的储水量, 如式(1)所示。

$$\Delta W_{ij} = W_{i(j+1)} - W_{ij} \tag{1}$$

式中:  $\Delta W_{ij}$  ——第  $i$  种枯落物在  $(j+1)-j$  浸泡时间段内的储水量( $g/kg$ );  $W_{i(j+1)}$  ——第  $i$  种枯落物  $j+1$  时段的湿重( $g$ );  $W_{ij}$  ——第  $i$  种枯落物  $j$  时段的湿重( $g$ )。

用  $\Delta W_{ij}$  再除以第  $i$  种枯落物相应时段的浸泡时间  $\Delta t_{ij}$ , 即为该种枯落物此时段吸水速率  $\Delta V_{ij}$ , 如式(2)所示。

$$\Delta V_{ij} = \frac{\Delta W_{ij}}{\Delta t_{ij}} \tag{2}$$

式中:  $\Delta V_{ij}$  ——第  $i$  种枯落物在  $(j+1)-j$  浸泡时间段内的吸水速率( $g/kg \cdot h$ );  $\Delta t_{ij}$  ——第  $i$  种枯落物  $j+1$  时段与  $j$  时段的时间差( $h$ )。

依枯落物持水量及吸水速率测定方法, 将采集回室内并进行风干称重后的枯落物浸泡在清水中分时段称其重量, 测定时段为 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 6 h, 17 h, 25 h, 由于受实验当地条件限制, 针阔混交林地的枯落物测定时段为 15 min, 30 min, 1 h, 2 h, 4 h, 6 h, 8 h, 10 h 和 22 h。在每一时段测定时, 每个样品重复 5 次, 每次间隔 1 min。将每种森林类型林下枯落物的 12 个样品分别按以上方法进行处理, 取其平均值, 即得到该种森林类型林下枯落物的储水量和其吸水速率。

3 结果与分析

3.1 不同森林类型林下枯落物储量

按照枯落物收集的方法得到重庆缙云山 4 种典型森林植被类型林下不同层次枯落物储量, 见表 2。

表 2 不同林地各层枯落物储量

观测小区 林分类型	不同林分枯落物分层干储						不同林分枯落物分层现储		
	未分解层		半分和分解层		总计		未分解层/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	半分和分解层/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )	现储量 总计/ ( $t \cdot hm^{-2}$ )
	厚度/ cm	储量/ ( $t \cdot tm^{-2}$ )	厚度/ cm	储量/ ( $t \cdot tm^{-2}$ )	厚度/ cm	储量/ ( $t \cdot tm^{-2}$ )			
灌木林小区	2.3	9.81	2.2	22.61	4.5	32.42	27.77	59.07	86.85
针阔混交林小区	1.8	6.20	1.7	10.09	3.5	16.29	10.27	21.30	31.57
阔叶林小区	1.8	7.25	1.6	18.23	3.4	25.48	15.45	43.45	58.90
楠竹林小区	1.4	16.21			1.4	16.21	29.11		29.11

从表 2 可以看出 4 种森林类型林下枯落物储量有一定差别, 灌木林枯落物储量最大, 为 86.85 t/

hm<sup>2</sup>; 阔叶林次之, 为 58.90 t/hm<sup>2</sup>; 针阔混交林位居第 3, 为 31.57 t/hm<sup>2</sup>; 楠竹林枯落物储量最小, 仅为 29.11 t/hm<sup>2</sup>。枯落物干储与现储量都是灌木林>阔叶林>针阔混交林>楠竹林, 林下枯落物层厚度为灌木林>针阔混交林>阔叶林>楠竹林。这是由于灌木林植物种类较多, 地形坡度较缓, 枯落物不易流失。楠竹林树种组成单一, 枯落物成分单一, 因而总量不多。

分析不同林分枯落物各半分解层分解层储量发现, 不同林下枯落物未分解层、半分解层分解层储量所占比例不同。除楠竹林以外各层次枯落物储量都是半分解层分解层的总储量大于未分解层储量, 其中阔叶林半分解层分解层枯落物储量比未分解层大 2.51 倍, 达到总储量的 73.77%, 分别比灌木林和针

阔混交林高出 5.76% 和 6.30%。推断主要是由于阔叶树落叶分解较快, 而针叶树难以分解的缘故。

3.2 不同层次枯落物持水特性

3.2.1 不同层次枯落物持水量

枯落物的持水能力多用干物质的最大持水量和最大持水率来表示, 其值的大小与林分类型、林龄、枯落物的组成、分解状况、累积状况等有关。比较表 3 中不同类型森林林下枯落物未分解层最大持水量, 可以看出楠竹林林下枯落物未分解层持水量最大为 3.34 mm, 灌木林林下枯落物未分解层持水量次之为 2.30 mm, 针阔混交林林下枯落物未分解层持水量为 1.41 mm, 阔叶林林下枯落物未分解层持水量最小, 为 1.36 mm。它们的大小顺序为楠竹林>灌木林>针阔混交林>阔叶林。

表 3 不同林地枯落物的分层最大持水量

林分类型	枯落物层次	不同观测时段持水深/ mm								
		0.25 h	0.5 h	1 h	1.5 h	2 h	4 h	6 h	17 h	25 h
灌木林	未分解层	1.48	1.60	1.68	2.01	2.13	2.22	2.26	2.29	2.3
	半分解分解层	3.84	3.96	4.15	4.78	5.40	5.57	5.73	5.75	5.76
阔叶林	未分解层	0.76	0.87	0.94	1.09	1.17	1.28	1.35	1.35	1.36
	半分解分解层	1.11	1.75	2.10	2.47	2.73	2.84	2.94	2.96	2.96
楠竹林	未分解层	2.12	2.26	2.58	2.91	3.16	3.23	3.29	3.34	3.34

林分类型	枯落物层	不同观测时段持水深/ mm									
		0.25 h	0.5 h	1 h	1.5 h	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	22 h
针阔混交林	未分解分解层	0.64	0.80	0.92	0.97	1.06	1.12	1.18	1.26	1.35	1.41
	半分解分解层	1.42	1.98	2.36	2.66	2.87	3.00	3.11	3.26	3.30	3.3

从表 3 对不同森林类型林下枯落物半分解层分解层持水量进行比较, 可以看出林下枯落物半分解层分解层持水量大小为灌木林>针阔混交林>阔叶林。其中灌木林林下枯落物半分解层分解层持水量为最大, 为 5.76 mm, 针阔混交林林下枯落物半分解层分解层持水量为 3.30 mm, 阔叶林林下半分解层分解层持水量最小为 2.96 mm。

除楠竹林以外的 3 种森林类型林下枯落物未分解层与分解层半分解层持水量相比, 均是未分解层枯落物持水量小于半分解层分解层枯落物的持水量。不同林下枯落物持水量相对比, 均是灌木林持水量最大, 针阔混交林次之, 阔叶林最小。这说明针阔混交林林下枯落物的持水能力与阔叶林相比, 针阔混交林林下枯落物的持水能力比阔叶林林下枯落物持水能力大, 这与在曲溪小流域研究的结论一致<sup>[21, 22]</sup>。

3.2.2 枯落物持水量与浸泡时间的关系

不同森林类型林下枯落物未分解层、半分解层分解层持水量与浸泡时间之间表现出较好的相关性, 见图 1 和图 2。

由实验结果可知: 枯落物的吸持水量在浸水实验开始的 30 min 内迅速增加, 以后随着时间的延长而有不断增加的趋势, 但增加的速度较慢。枯落物拦蓄地表径流的功能在降雨开始时较强, 此后随着枯落物湿润程度的增加, 吸持能力降低, 至达到枯落物的最大饱和持水量。另外, 枯落物拦蓄地表径流的能力与其自身的干燥程度有关。在前 30 min 内, 灌木林林下枯落物的持水量最大, 达到 11.12 mm, 阔叶林林下枯落物持水量次之, 为 5.24 mm, 楠竹林林下枯落物持水量为 4.52 mm, 针阔混交林林下枯落物持水量最小, 仅为 3.56 mm。在前 1 h 以内 4 种林地林下枯落物持水量大小依次为: 灌木林>

针阔混交林> 阔叶林> 楠竹林。

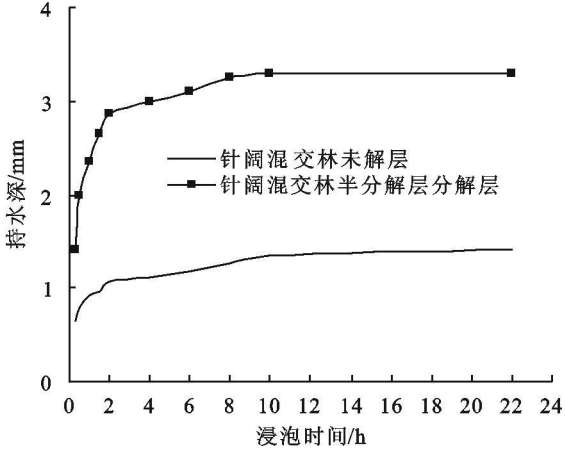
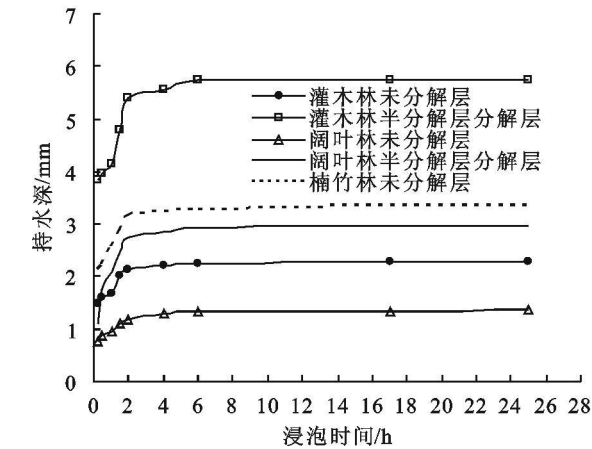


图 1 不同林地林下枯落物持水深与浸泡时间关系

从图 1 可以看出不同时段灌木林林下枯落物的持水量远大于其他林地的枯落物。对比 4 种林地枯落物未分解层与半分解层分解层持水量随时间变化趋势,发现 4 种林地枯落物的未分解层和半分解层分解层在浸泡前 2 h 内持水量变化极大,2 h 以后变化量变小,各层持水量均浸泡 8 h 后基本达到饱和。并且林地枯落物未分解层持水量均小于枯落物半分解层分解层持水量。可见重庆缙云山林下枯落物分解层半分解层持水能力均高于未分解层持水能力。由图 1 及图 2 可以看出,当枯落物在水中浸泡 8 h

图 2 针阔混交林枯落物持水深与其浸泡时间关系

时,其持水量基本上达到最大值,即 8 h 之后,增加浸泡时间,其持水量基本不再发生变化。对 4 种不同森林类型林下枯落物持水量与浸泡时间之间的关系进行回归分析<sup>[23]</sup>,发现林下枯落物持水量与浸泡时间存在式(3)关系<sup>[24]</sup>,所得的回归方程相关系数均在 0.899 3 以上,见式 3:

$$Q= a\ln t+ b \tag{3}$$

式中:  $Q$ ——枯落物持水深( mm );  $t$ ——浸泡时间;  $a, b$ ——方程系数。不同森林类型林下枯落物持水深与浸泡时间的关系见表 4。

表 4 不同林地枯落物累积持水量回归方程

林分类型	林下枯落物层	回归方程	$R^2$	$F$
灌木林	未分解层	$Q= 0.193511\ln t+ 1.819297$	0.84749	38.89732
	半分解分解层	$Q= 0.486230\ln t+ 4.547660$	0.83902	36.48441
阔叶林	未分解层	$Q= 0.140502\ln t+ 1.001217$	0.90193	64.37577
	半分解分解层	$Q= 0.380103\ln t+ 2.080491$	0.80877	29.60462
楠竹林	未分解层	$Q= 0.284601\ln t+ 2.653582$	0.83921	36.53556
	未分解层	$Q= 0.171214\ln t+ 0.905431$	0.98657	587.53714
针阔混交林	半分解分解层	$Q= 0.426184\ln t+ 2.313868$	0.91167	82.56519

表 5 不同林地枯落物持水速度

林分类型	枯落物层	不同观测时段持水速度/( mm · h <sup>-1</sup> )								
		0. 25 h	0. 5 h	1 h	1. 5 h	2 h	4 h	6 h	17 h	25 h
灌木林	未分解层	5. 927	3. 192	1. 683	1. 337	1. 067	0. 556	0. 377	0. 135	0. 092
	半分解分解层	15. 351	7. 912	4. 151	3. 183	2. 700	1. 393	0. 954	0. 338	0. 230
阔叶林	未分解层	3. 053	1. 737	0. 939	0. 724	0. 583	0. 320	0. 224	0. 080	0. 054
	半分解分解层	4. 433	3. 501	2. 104	1. 645	1. 364	0. 710	0. 490	0. 174	0. 118
楠竹林	未分解层	8. 486	4. 528	2. 581	1. 937	1. 581	0. 809	0. 549	0. 196	0. 133

林分类型	枯落物层	不同观测时段持水深/( mm · h <sup>-1</sup> )									
		0. 25 h	0. 5 h	1 h	1. 5 h	2 h	4 h	6 h	8 h	10 h	22 h
针阔混交林	未分解分解层	2. 544	1. 592	0. 918	0. 648	0. 531	0. 281	0. 197	0. 158	0. 135	0. 064
	半分解分解层	5. 699	3. 958	2. 363	1. 772	1. 437	0. 750	0. 518	0. 408	0. 330	0. 150

表 4 说明方差检验的结果  $F$  值达 29.604 62 以上,其相应的概率  $0.001\ 0 < 0.05(0.01)$ ,拒绝原假设关于所有回归系数同时为零,自变量时间与因变量持水量显著相关。

3.2.3 枯落物吸水速率与浸泡时间的关系

枯落物吸持水的速度与枯落物的干燥程度、枯落物量和枯落物结构有关。枯落物越干燥,吸持水的速度越快;枯落物量越多,短时间内的吸持水量越大;而革质、含油脂的树种枯落物吸持水量的速度比非革质、含油脂量少的树种枯落物慢<sup>[25]</sup>。经实验测定重庆缙云山 4 种典型森林类型林下枯落物的吸水速率,见表 5。

通过浸水实验,观察和分析了不同林地枯落物的持水过程,林下枯落物未分解层与半分解层分解层吸水速率与浸泡时间之间存在明显的相关关系,

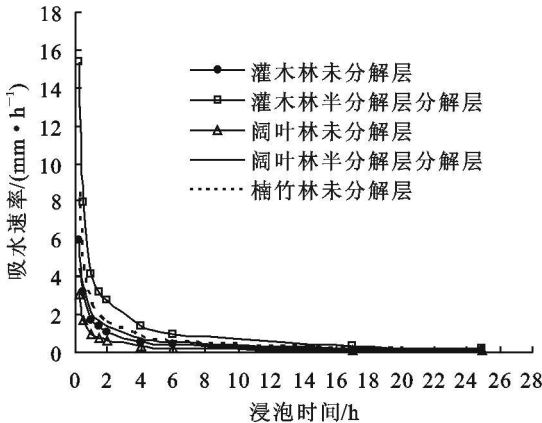


图 3 不同林地林下枯落物吸水速率

此外,枯落物的分解程度也影响枯落物层的持水能力。枯落物分解程度越高,表现为半分解层枯落物量越大,枯落物层的持水能力越高。所以,枯落物吸水速率大小都是半分解层大于未分解层。对所研究的 4 种森林类型林下枯落物未分解层和半分解层分解层吸水速率与浸泡时间关系数据进行回归分析,发现林下枯落物吸水速率与浸泡时间之间

表 6 不同林地枯落物吸水速率回归方程

林分类型	林下枯落物层	回归方程	$R^2$	$F$
灌木林	未分解层	$V = 1.796526t^{-0.897967}$	0.997	2670.313
	半分解层	$V = 4.491474t^{-0.898943}$	0.997	2662.330
阔叶林	未分解层	$V = 0.981659t^{-0.869239}$	0.997	2350.237
	半分解层	$V = 1.965946t^{-0.815976}$	0.982	377.377
楠竹林	未分解层	$V = 2.617754t^{-0.897461}$	0.997	2338.220
针阔混交林	未分解层	$V = 0.883214t^{-0.827879}$	0.998	4918.393
	半分解层	$V = 2.228096t^{-0.821958}$	0.992	976.386

表 6 说明方差检验的结果  $F$  值达 377.377 以上,其相应的概率  $0.000\ 0 < 0.05(0.01)$ ,拒绝原假设关于所有回归系数同时为零,自变量时间与因变

如图 3 和图 4 所示。

从图 3 和图 4 中可以看出,前 30 min 时灌木林的吸水速率为最大,吸水速率达到 22.208 mm/h。针阔混交林林下枯落物吸水速率为 11.100 mm/h,阔叶林林下枯落物吸水速率为 10.476 mm/h,楠竹林林下枯落物吸水速率最小,仅为 9.056 mm/h。前 1 h 时吸水速率大小为:灌木林>针阔混交林>阔叶林>楠竹林。不同森林类型林下枯落物吸水速率随时间的变化趋势是一致的,林下枯落物浸入水中刚开始时其吸水速率相差较大,但随浸泡时间延长,林下枯落物吸水速率趋向一致。在前 2 h 内吸水速率降低幅度大,此后随着时间的推移,吸水速率趋向于零。这主要是因为随着浸泡时间增加,不同种类枯落物接近其最大持水量,也就是说枯落物趋于饱和,其持水量增长速率随之减缓所致。

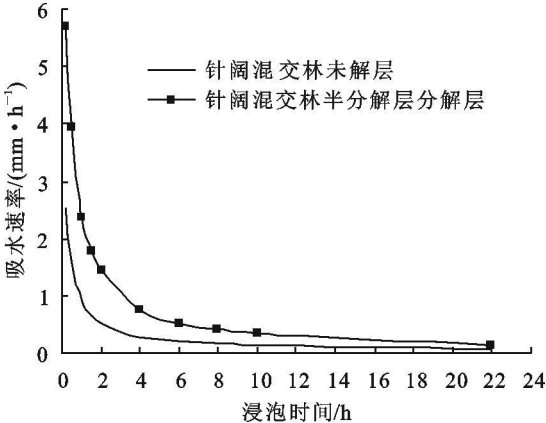


图 4 针阔混交林林下枯落物吸水速率

存在如式 4 所示关系。

$$V = kt^n \tag{4}$$

式中:  $V$  —— 枯落物吸水速率 (mm/h);  $t$  —— 浸泡时间 (h);  $k$  —— 方程系数;  $n$  —— 指数。

4 种不同森林类型林下枯落物吸水速率与浸泡时间的相关关系见表 6。

量吸水速率显著相关。

3.3 不同森林类型林下枯落物持水效应

枯枝落叶的吸水动态特点是:刚开始浸入水中

时,由于枯枝落叶从风干状态浸入静水中后,枯枝落叶的死细胞间或者枝叶表面,水势差较大,吸水速率高;加之枯枝落叶中有分解和半分解的枯枝落叶碎屑,它的表面积比未分解枯枝落叶的表面积大得多,吸水量也很大;此外,这种枯枝落叶的细胞间连接物质为细胞间水分存贮提供了场所,使枯枝落叶在浸入水中的初期持水量剧增。枯枝落叶一开始迅速吸水的过程对于短历时、大暴雨的降水产生径流、滞后径流有显著的影响作用,这正是枯枝落叶保持水土、调节水文作用的巨大功能所在<sup>[24]</sup>。因此,在重庆缙云山自然保护区内,在只考虑枯落物作用、前期无降雨和无土壤渗透的情况下,在 2 h 降雨内,灌木林在林内降雨小于 7.53 mm,林内雨强小于 21.278 mm/h;针阔混交林在林内降雨小于 3.93 mm,林内雨强小于 8.243 mm/h;阔叶林在林内降雨小于 3.90 mm,林内雨强小于 7.486 mm/h;楠竹林在林内降雨小于 3.16 mm,林内雨强小于 8.486 mm/h 的降雨情况下,不会产生地表径流。

## 4 结 论

在相同的气候条件下,针阔混交林、阔叶林、楠竹林和灌木林这 4 种天然林林下枯落物未分解层和半分解层枯落物储量所占比例各不相同,推断是由于树种不同、枯枝落叶分解难易程度不同所致。在重庆缙云山 4 种林地枯落物储量最大的是灌木林,达到 86.85 t/hm<sup>2</sup>。阔叶林地林下枯落物储量次之,为 58.90 t/hm<sup>2</sup>。楠竹林地林下枯落物储量最小,仅为 29.22 t/hm<sup>2</sup>。

重庆缙云山 4 种森林类型林下枯落物最大持水量存在一定差异。在同样的浸泡时间下,林下枯落物持水量排序为灌木林>针阔混交林>阔叶林>楠竹林。对 4 种不同森林类型林下枯落物持水量与浸泡时间之间的关系进行回归分析,发现林下枯落物持水量与浸泡时间存在  $Q = a \ln t + b$  关系,回归方程相关系数均在 0.899 3 以上。4 种森林类型林下枯落物持水量随时间变化过程均是在前 2 h 内持水量增加较快,特别是前 30 min 变化极显著,之后增加趋势明显变缓,6~8 h 时基本达到饱和。表明重庆缙云山林下枯落物持水量随时间变化过程与森林类型无关。

经分析拟合,得到重庆缙云山 4 种森林类型林下枯落物未分解层和半分解层吸水速率与浸泡时间之间关系式为  $V = kt^n$ ,且其林下枯落物半分解层分解层持水能力均高于未分解层持水能力。在林地枯

落物持水作用较强的前 30 min 内和 2 h 内,其吸水速率为灌木林大于针阔混交林和阔叶林,而楠竹林吸水速率最小。本文仅对研究地区林下枯落物持水量及其吸水速率等方面进行了探讨,不同森林类型林下枯落物的累计及分解速率、不同枯落物在水文过程中的作用等方面还有待作进一步研究。

参考文献:

- [1] 陈奇伯,解明曙,张洪江.森林枯落物影响地表径流和土壤侵蚀研究动态[J].北京林业大学学报,1994,16(增刊):88-97.
- [2] 朱丽晖,李冬.辽东山区天然次生林枯落物层的水文生态功能[J].辽宁林业科技,2001,(1):77-82.
- [3] 程金花,张洪江,张东升,等.贡嘎山冷杉纯林地被物及土壤持水特性[J].北京林业大学学报,2002,24(3):45-49.
- [4] 张洪江,王礼先.花岗岩坡面土壤流失特性及其系统动力学仿真[M].北京:中国林业出版社,1997.15-19.
- [5] 张洪江,程云,史玉虎,等.长江三峡花岗岩坡面管流产生流特性研究[J].水土保持学报,2001,15(1):5-8.
- [6] 赵鸿雁,吴钦孝.黄土高原几种枯枝落叶吸水机理研究[J].水土保持学报,2000,14(4):15-18.
- [7] 刘玉成,钟章成,等.缙云山自然保护区植被概况[A].钟章成.常绿阔叶林生态学研究[M].重庆:西南师范大学出版社,1988.315-326.
- [8] Richard L, Granillo A B. Soil Protection by natural vegetation on clearcut forest land in Arkansas[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1985, 40(4): 379-382.
- [9] Wiersum K F. Effect of various vegetation layers in an *Acacia auriculiformis* forest plantation on surface erosion in Javi, Indonesia[M]. New York: The International Conference, 1983.
- [10] Dabne S M. Cover crop impacts on watershed hydrology[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1998, 53(3): 207-213.
- [11] 刘伦辉,刘文耀.滇中山地主要植物群落水土保持效益比较[J].水土保持学报,1990,4(1):36-42.
- [12] 黄礼隆.川西亚高山暗针叶森林涵养水源性能的初步研究[A].周晓峰.中国森林生态系统定位研究[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1994.400-412.
- [13] 马雪华,杨茂瑞.亚热带杉木、马尾松人工林水文功能的研究[A].周晓峰.中国森林生态系统定位研究[M].哈尔滨:东北林业大学出版社,1994.346-353.
- [14] 王佑民.中国林地枯落物持水保土作用研究概况[J].水土保持学报,2000,(4):110-115.
- [15] 王佑民,刘秉正.黄土高原防护林生态特征[M].北京:中国林业出版社,1994.232-236.
- [16] 刘向东,吴钦孝.黄土高原油松人工林枯枝落叶层水文生态功能研究[J].水土保持学报,1991,5(4):87-91.

(下转第 136 页)

效<sup>[5]</sup>。至今各市、县气象局均已配备了人工增雨作业设备,同时,在前几年的人工增雨作业实践中,锻炼和培养出了一批人工影响天气作业的技术骨干队伍,将为农业增收、增效发挥显著作用。如:2003 年、2004 年泉州出现的大范围持续干旱,各级气象部门为此组织进行了多次人工增雨作业,有效缓解了当时的旱情。



图 3 泉州市干旱等级区划图

6.3 加强水利建设

充分利用地表水资源,“蓄”水、“引”水:加强水利建设,增加水库和池塘的蓄水能力,将有限的自然降水尽可能多的蓄留。同时开辟引水沟渠,从水源充分的江河湖库引水、调水到本区,也可从本区水分较充足的地区调节部分水资源到干旱地区。在“十一五”期间主要做好如下工作:

(1)蓄水工程。龙门滩引水扩建工程(碧坑水库)、安溪县芦田福潭水库、安溪县感德龙虎桥水库、洛江区八峰水库工程、2 座病险水库除险加固工程。

(2)引调水工程。金鸡拦河闸重建工程、山美灌区南高干渠整治三期工程、南安市沿海三镇供水工程、惠安县惠女水库灌区续建配套和节水改造工程、洛江区新庵水厂、永春水厂及调水工程、晋江市农村人饮工程、晋江市供水二期工程、石狮引水二期工程。

6.4 积极研发和引进海水淡化技术

海水的淡化目前成本很高,泉州市可以通过市际、省际乃至国际合作实施人才和技术的引进与研发战略<sup>[6]</sup>,尽快大幅的降低海水淡化的成本,这样不仅能使海岸带临海的区位优势得以最大的发挥,根本上解决旱灾带来的缺水问题,还能够通过技术的研发和转让创造更高的经济效益。

参考文献:

[1] 鹿世瑾. 福建气候[M]. 北京: 气象出版社, 1999. 109-132.

[2] 汤奇成, 程天文, 李秀云. 中国河川月径流的集中度和集中期的初步研究[J]. 地理学报, 1982, 37(4): 383-393.

[3] 姜爱军, 杜银, 谢志清, 等. 中国强降水过程时空集中度气候趋势[J]. 地理学报, 2005, 60(6): 1007-1014.

[4] 刘金芳, 郝培章, 俞慕耕, 等. 东南沿海台风风暴潮特点及其变化规律[J]. 海洋预报, 2002, 19(1): 81-88.

[5] 刘树坤. 中国水旱灾害防治使用手册[M]. 北京: 中国社会科学出版社, 2000.

[6] 朱晓东, 李杨帆, 桂峰. 我国海岸带灾害成因分析及减灾对策[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 26-29.

(上接第 132 页)

[17] 赵鸿雁, 吴钦孝. 水土流失系统物质与能量交换途径的研讨[J]. 水土保持学报, 1993, 7(1): 45-52.

[18] 吴钦孝, 刘向东. 陕北黄土丘陵区沙棘林凋落及其动态研究初报[J]. 沙棘, 1994, 7(2): 89-93.

[19] 吴钦孝, 刘向东. 陕北黄土丘陵区油松林枯枝落叶层蓄积量及其动态变化[J]. 林业科学, 1993, 29(1): 63-66.

[20] 苏宁虎. 森林植物凋落物动态的数学模型[J]. 林业科学, 1989, 25(2): 162-165.

[21] 程金花, 张洪江, 史玉虎, 等. 三峡库区几种林下枯落物的水文作用[J]. 北京林业大学学报, 2003, 25(2): 8-13.

[22] 张洪江, 程金花, 史玉虎, 等. 三峡库区 3 种林下枯落物储量及其持水特性[J]. 水土保持学报, 2003, 17(3): 55-58.

[23] 沈学桢. 现代数据分析技术[M]. 上海: 立信会计出版社, 2005. 84-106.

[24] 王云琦, 王玉杰, 张洪江, 等. 重庆缙云山几种典型植被枯落物水文特性研究[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 41-44.

[25] 饶良懿, 朱金兆, 毕华兴, 等. 重庆四面山森林枯落物和土壤水文效应[J]. 北京林业大学学报, 2005, 27(1): 33-37.